Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Breslau
Direktor: Professor Dr. Euler

Die Ausbreitung von Kupferverfärbungen innerhalb der harten Zahnsubstanzen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung

der Doktorwürde in der Zahnheilkunde

der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Breslau

vorgelegt von

Willibald Domin
Zahnarzt

Breslau 1932
Druck von Anton Schreiber, Breslau

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Breslau

I. Referent: Professor Dr. Greve
II. „ Professor Dr. Euler

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Im Verlaufe dieser Arbeit soll das Verhalten der harten Zahnsubstanzen Schmelz, Dentin, Zement, betreffend ihrer Aufnahmefähigkeit für Kupfersalze und deren Lösungen geprüft und beschrieben werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen der Vorgänge, die sich bei den Verfärbungen der harten Zahnsubstanzen abspielen, sollen dargestellt und näher beleuchtet werden. Insbesondere soll auch der zeitliche Ablauf der Vorgänge erfaßt und durch Versuche bestimmt werden.

Die uns bekannten Verhältnisse der einzelnen Elemente der harten Zahnsubstanzen zueinander werden von Anfang an darauf schließen lassen, daß man verschiedene Resultate betreffend der Ausbreitungsmöglichkeit von Metallsalzen und Metallsalzlösungen innerhalb der harten Zahnsubstanzen erhalten wird.

Wie aus den weiteren Ausführungen zu ersehen sein wird, treten durch die Verwendung stark kupferhaltiger Legierungen, wie Kupferamalgam in der konservierenden und Nickelin in der prothetischen Zahnheilkunde, wenn die Legierungen direkt mit den Zahnsubstanzen in Berührung kommen, Farbveränderungen der harten Zahnsubstanzen auf. Außerdem werden beim Nickelin, besonders wenn es mit anderen Metallen gelötet, als Stiftverankerung für Stift- oder Ringstiftzähne verwandt wird, alsbald Nachteile in Erscheinung treten. Diese Nachteile bestehen in der Auflösung des Nikkelins an der Lötstelle. Im Laufe der Zeit bedeutet aber der Substanzverlust eine Gefährdung des Zahnersatzes. Er ist mechanischen Beanspruchungen nicht mehr ausreichend gewachsen. Brüche bleiben in der Nähe des angegriffenen Stiftmaterials nicht aus.

Untersuchungen, welche dem Thema sehr nahe stehen, sind bereits verschiedentlich von anderer Seite gemacht worden. Als einer der ersten ist Bödecker-New York zu nennen. In seinem Werk: „Die Anatomie und Pathologie

der Zähne" beschreibt er eine Reaktion der Dentinfasern auf direkt gelegte Amalgamfüllungen und sagt: „Die nach Einführung dieses Materials auftretenden Veränderungen hängen von der Länge der Zeit ab, welche es in der Höhle liegen geblieben ist. Einige Monate nach Einführung kann man fast ausnahmslos eine deutliche Verfärbung des Randes der Höhle beobachten, was dem Eindringen von Silber oder Quecksilbersulfid in die Zahnkanälchen zuzuschreiben ist. Die Metallteilchen erscheinen unter dem Mikroskop schwarz und sind deshalb leicht zu erkennen. Es scheint, daß sie in die Tiefe des Dentins eine gewisse Strecke weit durch die Kontraktion der Dentinfasern verschleppt werden, sonst wäre es unbegreiflich, warum gerade die tiefste Verfärbung in einer Entfernung vom Rande sichtbar ist".

Darauf hat Witzel im Jahre 1871 in seinem Buch „Das Füllen der Zähne mit Amalgam" folgendermaßen geantwortet: „Wenn Boedecker darunter unveränderte, chemische, flüssige Teilchen des Amalgams verstehen sollte, welche die in seinen Bildern scharf hervortretenden Zeichnungen geliefert haben, so muß ich dem widersprechen. Wenn er jedoch annimmt, daß die Färbung durch Silberamalgam infolge der Bildung von Schwefelmetallen entsteht und daß diese Veränderung in den Dentinröhrchen durch das Eindringen von Schwefelwasserstoffgas und mitgerissenem deponiertem Schwefelmetall hervorgerufen wird, dann besteht zwischen seiner und meiner Auffassung über das Zustandekommen der Färbung der Zahnsubstanzen durch sogenannte Gold- oder Silberamalgame kein Unterschied mehr, höchstens der, daß ich den Dentinfasern keine Kontraktion zuschreibe, durch welche die Metallpartikelchen weit in das Kanalsystem verschleppt werden. Das, was Boedecker auf eine „contraction of the dentinal fibers" zurückführen möchte, beruht meines Erachtens lediglich auf chemisch — physikalischen Prozessen".

In seinem Buch „Die konservierende Zahnheilkunde" schließt sich Black bei der Besprechung der Verfärbung der Zahnsubstanzen den Aeußerungen von Adolf Witzel an.

In seinem Buch „Die konservierende Zahnheilkunde" beschreibt Walkhoff kurz: „Es erfolgt eine Verfärbung bei eintretendem mangelhaftem Randschluß durch Bildung von Schwefelsilber bezw. Schwefelkupfer. Sie verfärben den Zahn selbst, weil diese chemischen Verbindungen in die Dentin-

kanälchen eintreten. Man beobachtet neben einer Schwarzfärbung des Dentins durch Schwefelkupfer gelegentlich auch eine Grünfärbung, welche durch Bildung von schwefel- und kohlensaurem Kupfer hervorgerufen wird".

Meine eigenen Versuche und Untersuchungen sollten sich auf kupferhaltige Legierungen erstrecken. Um mir die Vorgänge, die sich bei der Verfärbung der harten Zahnsubstanzen innerhalb der Mundhöhle abspielen, augenscheinlich zu machen, habe ich zunächst eine Anzahl von Zahnschliffen hergestellt. Zur Verwendung kamen Zähne, welche mit Kupferamalgam gefüllt und kürzere oder längere Zeit von Patienten getragen wurden. Zwei Präparate stellen das Verhalten von Nickelin, nachdem es innerhalb der Zahnsubstanz verwandt worden war, dar.

Bei Betrachtung der Zahnschliffe zeigten besonders die Füllungen, die längere Zeit getragen wurden, Substanzverluste und schlechten Randschluß. Auch bei Füllungen, welche nur wenige Wochen gelegen hatten, konnte ich mikroskopisch einen Zwischenraum zwischen Zahnsubstanz und Füllung feststellen. Ebenso waren bei jedem Präparat auch bei kurzer Liegedauer unterhalb der Füllung Farbveränderungen zu sehen. So ist im Präparat Ia eine von der Füllung ausgehende schwache Blaugrünfärbung, beginnend bei den angeschnittenen Dentinkanälchen und deren Verlauf nach dem Pulpenkavum folgend, sichtbar. Die Füllung dieses Zahnes hatte ich 7 Wochen vor der Extraktion in eine künstlich geschaffene Kavität gelegt. Zum Nachweis, daß es sich tatsächlich um Kupfersalze handelt, habe ich die andere Hälfte des Zahnes mit Schwefelwasserstoff behandelt und so eine Umwandlung der Ablagerungen in Kupfersulfide, welche jetzt besser sichtbar sind, erreicht. Dieses Präparat zeigt einwandfrei den Beginn einer Verfärbung, und zwar Blaugrünfärbung durch leichtlösliches Kupfersalz in einer verhältnismäßig kurzen Zeit. Demgegenüber steht das Präparat 2a, b. Dieser Zahn ist nach Angabe des Patienten 7 Monate getragen worden und zeigt bereits neben der Blaugrünfärbung auch schwarzbraune Verfärbung. In der Tiefe sind blaugrüne, (Präparat 2a) dann keilförmig nach der Füllung zu und um diese herum schwarzbraune Ablagerungen zu beobachten. Präparat 3a ist ein Schliff, an dem deutlich in der Tiefe Blaugrünfärbung, nach der Füllung zu wiederum teilweise Schwarzbraunfärbung sicht-

bar ist. Präparat 3b ist wieder mit Schwefelwasserstoff behandelt; dadurch erscheint jetzt ein viel größeres Gebiet verfärbt, das vorher als Depot blaugrüner Kupfersalze nicht so gut zu erkennen war. Bei den Präparaten Nr. 4, 5, 6, 7, 9 sieht man nun immer wieder erst Blaugrünverfärbung in der Tiefe und nach den Füllungen zu mehr oder weniger Schwarzbraunfärbung. Bei Präparat Nr. 8 ist überhaupt nur Blaugrünfärbung unterhalb der Füllung festzustellen. Bei all diesen Präparaten war die Ausbreitungsmöglichkeit der Kupfersalze innerhalb der harten Zahnsubstanzen teilweise durch die noch vorhandene Pulpa begrenzt. In diesem Falle werden die in die Pulpa eintretenden Kupfersalze wohl von der Pulpa aufgenommen und zum Abtransport gelangen. Ich kann mich hier auf Beobachtungen von Rebel stützen, der nach der Einwirkung von Silbernitrat auf das Dentin den Abtransport von Silberteilchen durch die Pulpa feststellen konnte.

Weiter sieht man aber auch Schwankungen in der Intensität der Verfärbungen in der Ausbreitung innerhalb der Dentinkanälchen, d. h. die Verfärbungen gehen nicht bis zum Pulpenkavum gleichmäßig durch. Auf diesen Befund wird bei der Besprechung der Verfärbung im Dentin näher eingegangen werden. Es interessiert hier zunächst das Entstehen der teilweise eintretenden Blaugrün- resp. Schwarzbraunfärbungen klar zu legen. Die Präparate 10, 11, 12 zeigen diffuse Verfärbungen. Hier ist aber auch wieder Blaugrünfärbung vorherrschend. Präparat 12a, b ist eine Wurzel, bei welcher als Träger eines Stiftzahnes ein Nickelinstift verwendet wurde, durch den die Verfärbung zustande kam. Der Stiftzahn wurde von der Patientin 3 Jahre lang getragen. Die Facette mit Rückenplatte und Wurzelhalbkappe, welche aus 20 karätigem Gold hergestellt waren, hatten sich in dieser Zeit vom Nickelinstift, der lose in der Wurzel steckte, gelöst. Die Wurzel selbst saß fest und reaktionslos in ihrer Alveole. Eine Taschenbildung war nicht festzustellen. Man sieht auch bei diesem Präparat hauptsächlich Blaugrünfärbung mit teilweiser Schwarzbraunzeichnung. Der Nickelinstift lag unmittelbar ohne Befestigungszement der Kanalwandung an. Präparat 13 ist ebenfalls eine Wurzel, welche einen Stiftzahn mit Nickelinstift getragen hatte. Hier ist jedoch eine Verfärbung der Zahnsubstanz ausgeblieben, da durch den Befestigungszement der Nikelinstift isoliert war. Nur an einer Stelle, wo der Stift der Zahnwandung direkt anlag, kann

man mikroskopisch ein geringes Eindringen von Kupfersalzen nachweisen, während die im Laufe der Zeit gelösten Kupfersalze zwischen Befestigungszement und Nickelinstift liegen geblieben sind.

Nach diesen Betrachtungen ergeben sich also zwei Phasen, die sich im Verlaufe der Vorgänge bei den Kupfermetallverfärbungengen der harten Zahnsubstanzen in vivo abspielen, so, daß man die nun folgende zusammenfassende Einteilung geben kann.

Es kommen zustande:

1. Primäre, metallische blaugrüne Verfärbungen durch leichtlösliche Kupfersalze.
2. Sekundäre, schwarzbraune Verfärbungen durch Umwandlung der in den Zahnsubstanzen abgelagerten leichtlöslichen Kupfersalze in unlösliche Kupfersulfide.

Das Zustandekommen der Verfärbung der harten Zahnsubstanzen ist an chemisch-physikalische Vorgänge gebunden. Legierungen, welche verhältnismäßig viel Kupfer enthalten, werden, wenn man sie in der Mundhöhle verwendet, chemisch physikalische Veränderungen erfahren, die wir als Korrosion bezeichnen. Die Korrosionsprodukte, welche durch die, in der Mundhöhle sich bildenden und teilweise durch die Nahrungsaufnahme zugeführten Säuren und Salze gelöst werden, werden wohl teils mit dem Speichel fortgespült, teils in die Tiefe diffundieren. Sie verursachen so die primären blaugrünen Verfärbungen. Wird nun durch den so entstehenden mangelhaften Randschluß für die in jeder Mundhöhle vorkommenden Schwefelwasserstoffgase der Weg nach den primär verfärbten Partien zugänglich gemacht, so kommt es zu einer Ueberführung der leichtlöslichen blaugrünen Kupfersalze in unlösliche Kupfersulfide und damit zu sekundären, schwarzbraunen Verfärbungen.

Betrachtet man die harten Zahnsubstanzen als Medien verschiedener Dichte, die in ihren organischen Teilen Flüssigkeitsinhalt bestimmmter Konzentration besitzen, so ist zu verstehen, daß von außen eindringende Lösungen höheren osmotischen Druckes sich nach den Gesetzen der Diffusion verhalten und mit dem Konzentrationsausgleich die besprochenen Verfärbungen innerhalb der harten Zahnsubstanzen zustande bringen.

Da von vornherein anzunehmen ist, daß die verschiedenen Hartsubstanzen der Zähne mit ihrem verschiedenartigen morphologischen Bau und ihrem verschiedenen Gehalt an organischer Substanz sehr verschiedene Diffusionsmöglichkeiten bieten, war es von Interesse, die Ausbreitung der Kupfermetallverfärbungen innerhalb der verschiedenen Hartsubstanzen getrennt zu untersuchen.

Der Schmelz ist durch seinen hohen Gehalt von ca 96% anorganischer, gegenüber 4% organischer Substanz das härteste Gewebe der Zahnsubstanzen. In seiner morphologischen Zusammensetzung unterscheiden wir, der Darstellung W. Meyer's im Lehrbuch der Zahnheilkunde von Port-Euler folgend, Schmelzprismen, verkalkte interprismatische Substanz und weniger vorkommende, minder- oder unverkalkte interprismatische Substanz (Schmelzlamellen) und das Schmelzoberhäutchen, welches die Prismen und die interprismatische Substanz nach außen hin abschließt. Die Schmelzlamellen, aus organischer Substanz bestehend, verlaufen zwischen den Schmelzprismen und gehen in das Schmelzoberhäutchen über. Die Schmelzprismen, welche annähernd radiär vom Dentin zur Oberfläche gerichtet sind, haben in ihren abwechselnden Schichtungen teils geraden, teils bogenförmigen Verlauf. Durch diese gegenseitige Durchflechtung der Schmelzprismen erhält man in Längsschliffen ein bestimmtes Strukturbild. Es treten Streifen zutage, die als Schreger'sche Streifung oder Para- und Diazonien bezeichnet werden. Außerdem weisen die Prismen eine Querstreifung, die sogenannten Retzius- oder Parallelstreifen, auf.

Betrachtet man nun die einzelnen Schmelzelemente und ihren Zusammenhang untereinander, so muß man sagen, daß der normal verkalkte, intakte Schmelz von den harten Zahnsubstanzen die größte Dichte besitzt. Man wird daher voraussetzen können, daß der intakte Schmelz die ungünstigste Ausbreitungsmöglichkeit für Kupfermetallverfärbungen aufweisen wird, während bei Unterbrechungen der Dichte, wie sie durch die öfters zu beobachtenden Sprünge im Schmelz bedingt sind, die vorwiegend innerhalb der Schmelzlamellen entstehen, sich diese Voraussetzung nicht erfüllen wird.

Um festzustellen, ob der Schmelz von außen oder von der Schmelzdentingrenze her Kupfersalze aufnimmt, verschloß ich das Foramen apicale frisch extrahierter Zähne mit Wachs,

untersuchte unter der Lupe auf etwa vorhandene Schmelzsprünge und legte die anscheinend völlig intakten Zähne in eine $^1/_2$% ige Kupfersulfatlösung. Probeschliffe, in der Zeit von 14 Tagen bis 8 Monaten gemacht und zum exakten Nachweis mit Schwefelwasserstoff behandelt, zeigten, daß keine Kupfersalze in den Schmelz eingedrungen waren. Ich verweise auf Präparat Nr. 14. Liegedauer 8 Monate. (Der bei diesem Präparat sichtbaren Verfärbung des Dentins im Wurzelteil des Zahnes ist durch Zementkaries resp. Dentinkaries teilweise der Weg freigemacht worden.) Um zu sehen, ob der Schmelz von der Schmelzdentingrenze aus Kupfersalze aufnimmt, durchbohrte ich an einigen Zähnen die Schmelz- und Dentinschicht bis zum Pulpenkavum. Die so präparierten Zähne kamen ebenfalls in eine $^1/_2$% ige Kupfersulfatlösung. Liegedauer 3 Monate. Nach erfolgtem Schliff wurden die Präparate ebenfalls mit Schwefelwasserstoff behandelt. Als Resultat zeigen Präparat 15 und 16, daß auch auf diesem Wege kein Eindringen von Kupfersalzen in den Schmelz wahrzunehmen ist. Man sieht nur diffuse Verfärbungen ausgedehnter Dentinpartien.

An den Präparaten Nr. 2, 3 und 4a sind aber in unmittelbarer Nähe der Amalgamfüllung mit dem Mikroskop bei kleiner Vergrößerung Kupfermetallverfärbungen in geringem Ausmaße im Schmelz festzustellen. Durch die Verfärbung wird die Struktur des Schmelzes teils verwischt, teils deutlicher hervorgehoben. Die Para- und Diazonien treten besonders in Erscheinung, wie auch die Querstreifung der Prismen durch die Verfärbung zu erkennen ist. Auf Grund dieser Beobachtung ist zu sagen, daß also eine Verfärbung des Schmelzes möglich ist, es müssen jedoch erst die Bedingungen für eine solche geschaffen werden. Diese Bedingungen können durch geringe Entziehung von Kalksalzen sowohl innerhalb der interprismatischen Bahnen als auch innerhalb der Prismen selbst durch Säureeinwirkung gegeben werden. Die Präparate Nr. 17, 18, deren Kavitäten mit einer 1 % igen Milchsäurelösung 3 mal täglich je 15 Minuten lang beschickt wurden, sollen den Nachweis dafür erbringen. Um ein Austrocknen der Zähne zu verhindern, wurden sie in den Zwischenzeiten in Speichel gelegt. Nach derartiger dreiwöchentlicher Vorbehandlung kamen die Zähne in eine $^1/_2$% ige Kupfersulfatlösung. Es diffundierten Kupfersalze

in den Schmelz, die nach erfolgtem Schliff durch Schwefelwasserstoffreaktion deutlich sichtbar gemacht werden konnten und in Anlehnung an die Präparate Nr. 2, 3 und 4a gleichfalls Bilder lieferten, die die Schmelzstruktur besonders hervortreten ließen.

Von den harten Zahnsubstanzen gibt das Dentin durch seinen Bau und auch als Hauptmasse des Zahnes für die Ausbreitung von Kupfermetallverfärbungen die günstigsten Bedingungen ab. Zunächst erfolgt die Ausbreitung in den bei der Kavitätenpräparation angeschnittenen Dentinkanälchen, teils bis zur Pulpa, teils nur eine Strecke weit innerhalb der Dentinwandung. Bald greift die Verfärbung aber auch durch die Verästelungen der Dentinkanälchen in der Schmelzdentingrenze auf die benachbarten Dentinpartien, teilweise bis zum Pulpenkavum, über. Hier ist nun bei Zähnen mit lebender Pulpa, soweit die Farbstoffe diese erreichen, der weiteren Ausbreitung von Verfärbungen in den harten Zahnsubstanzen eine Grenze gesetzt. Eine weitere Behinderung der Ausbreitungsmöglichkeit von Kupfersalzlösungen innerhalb des Dentins wird wohl durch die bei dem biologischen Ablauf der Dentinkaries entstehende transparente Zone eintreten, die wohl im allgemeinen bei der Kavitätenpräparation als harte Zahnsubstanz in der Kavität belassen wird. Um nun die Unregelmäßigkeiten der Verfärbungen, wie sie bei den Präparaten 3—9 und 14 auffallen, erklären zu können, wird man diese Veränderung im Dentin, die durch die Dentinkaries hervorgerufen wird, mit in unsere Betrachtungen ziehen müssen, da nach Gysi und Furrer die transparente Zone für Farben und Imprägnationsmittel vollständig undurchlässig ist. Ebenso stellte Setsuso Okino, Tokio, am Züricher Zahnärztlichen Institut experimentelle Untersuchungen über die Durchlässigkeit der transparenten Zone am lebenden Zahn an. Er legte Farbstoffe und Medikamente in künstliche und kariöse Höhlen ein und fand, daß bei verschiedener Liegedauer Methylenblau, Trypaflavin und Goldchloridlösung in den künstlichen Kavitäten ungehindert bis zur Pulpenhöhle eindrang, während in kariösen Höhlen mit transparenter Zone im Dentin die eingelegten Stoffe durch diese Zone nicht hindurchgingen.

Die Versuche mit Argentum nitricum ergaben ein Eindringen in künstliche Kavitäten bis zur Pulpahöhle, in kariösen Kavitäten ging Silbernitrat in überwiegender Mehrzahl der

Fälle (ca. 80%) nicht durch die transparente Zone hindurch. Die Howe'sche Silberamoniaklösung zeigt bei künstlichen Kavitäten ein Eindringen bis zum Pulpenkavum. In kariösen Höhlen geht die Lösung in etwa 75% nicht durch die transparente Zone hindurch.

Silikat — Zementflüssigkeit geht in künstlichen Kavitäten bis zum Pulpenkavum, in kariösen Kavitäten scheint die transparente Zone für diesen Stoff etwas durchlässig zu sein.

Dentinestol, ein Paraformaldehydpräparat, ebenso Chlorphenol dringen, in künstliche sowie in kariöse Höhlen gelegt, durch die transparente Zone vollständig hindurch. Aus diesen Ergebnissen ist zu ersehen, daß die verschiedenen Versuchsstoffe, auf Grund der Veränderungen im Dentin, verschiedenes Diffusionsvermögen besitzen, und daß besonders für die Farbstoffe eine Behinderung in der Ausbreitung besteht.

Betrachtet man nun die Verfärbung, wie sie im Präparat 1 a und b zu sehen ist, und bei dem vor dem Legen der Füllung eine künstliche Kavität geschaffen wurde, so sieht man ganz gleichmäßige, durch nichts unterbrochene Verfärbung des Dentins von der Füllung bis zur Pulpa. Ebenso ist bei Präparat 2 a kaum anzunehmen, daß bei der Kleinheit der Füllung vor dem Legen schon Dentinkaries vorgelegen hat. Man sieht auch hier gleichmäßige Ausdehnung der Verfärbung. Bei den Präparaten 3, 4, 5, 6, 7, 8, 14, bei denen vor Behandlung der Zähne sicher Dentinkaries vorgelegen hat, sehen wir, daß die Verfärbungen unregelmäßig und in ihrer Intensität schwankend aufgetreten sind. Daraus ist zu schließen: Es verfärbt sich das Dentin auf Grund direkt gelegter Kupferamalganfüllungen vollständig gleichmäßig bis zur Pulpa, wenn es im annähernd normalen Stoffwechsel steht. Hat aber vor dem Legen einer Füllung infolge Dentinkaries eine Stoffwechselstörung im Dentin stattgefunden und in ihrem Verlauf Veränderungen hervorgerufen, welche, wie zu sehen war, die Durchgängigkeit der Dentinkanälchen für eine Reihe von Stoffen beeinträchtigen oder ganz unterbinden, so wird natürlich für die vorliegenden Fälle auch dasselbe zu sagen sein, nämlich, daß durch diese Veränderungen die Ausbreitungsmöglichkeit für Kupfermetallverfärbung behindert wird und so eine Erklärung für die Unregelmäßigkeiten der Verfärbung im Dentin bei Zähnen mit noch lebender Pulpa gefunden ist. Bei den Präparaten Nr. 10, 11, 12, welche diffus verfärbt

sind, war die Pulpa zur Zeit der Verfärbung nicht mehr vorhanden, sodaß die in das Pulpenkavum eindringenden Kupfersalze von diesem aus innerhalb der Dentinkanälchen nach der Peripherie dringen konnten, wo sie im Wurzelteil, anscheinend im Dentin, festgehalten werden, ohne die Außenfläche des Zementes zu erreichen (Präparat 12 b). Zu dieser Annahme kam ich durch die Feststellung, daß die von außen erfolgte Behandlung des intensiv grün gefärbten Wurzelteiles mit Schwefelwasserstoffwasser keine Reaktion ergab. Diese Annahme, daß das Kupfersalz vom Dentin aus nicht in das Zement eindringt und somit auch nicht durch das Zement hindurch diffundieren kann, erfährt eine Bestärkung dadurch, daß ich durch eine Reihe von Versuchen diesbezügliche positive Ergebnisse erhalten habe.

Vor einigen Jahren sind von einigen Autoren wie Herrmann, Bauchwitz, Adrion, Freibusch Arbeiten erschienen, in denen über die Diffusionsvorgänge in den harten Zahnsubstanzen berichtet wird. Die experimentellen Ergebnisse der einzelnen Autoren zeitigten teils gleiche, teils ungleiche Befunde, wie auch über die Bedeutung derselben die Meinungen auseinander gingen. So bezeichnet Herrmann die Kanalwandung der Zähne als eine semipermeable Membran, weil bei seinen Versuchen, wobei er Zähne, deren Foramen verschlossen wurde, in eine Farbstofflösung von großer Farbfähigkeit (Pyoktaninlösung) legte, innerhalb von 5 Monaten nur Wasser, keine Farbe durch die Kanalwandung bis in das Pulpenkavum hindurchging. Diese Ansicht von Herrmann, daß die Zahnwandung als semipermeable Membran aufzufassen sei, und daß somit der Säfteaustausch auf osmotischem Wege stattfinden müßte, ist durch die Versuchsanordnung von Adrion widerlegt worden. Sie hat bewiesen, daß wenigstens für seine Versuchsstoffe Natriumnitrit, Natriumsulfat und Natriumchlorid, die durch die Kanalwandung hindurchdiffundierten, eine Semipermeabilität nicht besteht. Er erklärt den Befund von Herrmann dahin, daß der tote Zahn wie eine Tonzelle wirkt, d. h., der Farbstoff dringt nur wenig in die Kanalwandung ein, während das Wasser ganz hindurch geht. Ebenso ergaben die Versuche von Adrion bereits nach 24 Stunden bis zu vier Tagen positive Ergebnisse, im Gegensatz zu Herrmann, der eine Versuchszeit von 5 Monaten angibt.

Die Versuche von Bauchwitz veranlaßten zu folgender Zusammenstellung: „Kristalloide diffundieren durch Schmelz, Dentin und Zement beim Tier- und Menschenzahn. Kolloide diffundieren durch Schmelz und Dentin beim Tier- und Menschenzahn. Bakterien diffundieren durch Schmelz und Dentin mit größter Wahrscheinlichkeit, und zwar nicht nur ihre Toxine, sondern auch die Bakterien selbst.“ Als erster erwidert wohl hierauf Kranz, daß die erstaunlichen Ergebnisse der Bauchwitz'schen Untersuchungen mit Vorsicht aufzufassen wären. Er verweist auf die Arbeiten von Schwarz und Niedergesäß über Sprünge in Menschen- und Tierzähnen. Bei der Untersuchung von Hunderten von Menschen- und Tierzähnen hatten diese Autoren keinen einzigen Zahn gefunden, der nicht Sprünge im Schmelz aufzuweisen hatte. Es wird also von Kranz angenommen, daß die positiven Ergebnisse der Bauchwitz'schen Versuche wohl hauptsächlich auf das Konto solcher Sprünge im Schmelz zu setzen sind. Von Freibusch wurden die Bauchwitz'schen Versuche nachgeprüft, mit dem Ergebnis, daß Freibusch die Versuchsanordnung für die positiven Resultate der Bakteriendiffusion verantwortlich macht, d. h. er fand, daß die Bakterien durch undichte Kittstellen bei den Versuchsobjekten hindurchgewandert waren und so eine Diffussion vortäuschten, wie er auch bei den Versuchen mit Kristalloiden nicht glaubt, daß eine Diffusion durch den intakten Schmelz hindurch stattfindet, da er nach erfolgtem Schliff an den Präparaten wohl das Dentin intensiv durchgefärbt fand, während im Schmelz nur die Sprünge „Tinktion“ zeigten.

Zusammenfassend zeigen die verschiedenen Ergebnisse der Untersuchungen der einzelnen Autoren, daß die beschrittenen Wege, die Diffusionsmöglichkeit einzelner Versuchsstoffe durch den Schmelz deutlich darzulegen, nicht ausreichen, um positive Schlüsse ziehen zu können. Während die Kanalwandung, also Dentin und Zement, durch die Adrion'schen Versuche für bestimmte Stoffe als vollständig durchlässig anzusehen sind, gibt es Stoffe, die nur durch einen Teil der Kanalwandung, nämlich das Dentin, hindurchgehen, während das Zement undurchlässig bleibt. Unter diese Stoffe wären die Kupfersalze, wie meine Versuche zeigen, einzureihen.

Bei einer Reihe von Zähnen wurde der Schmelz mit Lack und Wachs überzogen, das Zement freigelassen. Die

Wurzelspitze wurde abgesägt, hierauf eine Glaskapillare in das Pulpenkavum eingewachst. Das Pulpenkavum und die Kapillare wurden nun mit einer Kupfersulfatlösung gefüllt und in ein Gefäß mit Wasser gestellt, so, daß der Wasserspiegel unter den Wachsabschluß zu stehen kam. Nach einigen Tagen, bis zu 5 Wochen, wurde versucht, in dem den Zahn umgebenden Wasser durch Schwefelwasserstoffwasser Kupfersalze nachzuweisen. Es zeigte sich, daß in keinem Falle gelöster Stoff zum Wasser gewandert war, wie auch die nachträglich angefertigten Schliffe eine Färbung nur bis an das Zement heran aufweisen. Präparat Nr. 19 (analog dem Präparat Nr. 12).

Das Präparat Nr. 20 wurde auf dieselbe Weise wie Präparat 19 erhalten. Um nun das Eindringen der Kupfersalze genauer untersuchen zu können, wurde der Schliff nachträglich mit Schwefelwasserstoffwasser behandelt. Man sieht nun ganz deutlich bei durchscheinendem Licht makroskopisch und mikroskopisch, daß das Zement keinerlei Verfärbungen aufweist, nur die Dentinpartien haben Kupfersalze aufgenommen. Diese Befunde verdienen besonderes Interesse, wenn man die Frage stellt, ob die Kupfersalze bei ihrer Ausbreitung vom Pulpenkavum durch die Dentinkanälchen nach dem Zement über dieses hinaus in vivo in den Zahnhalteapparat eindringen könnten. Nach den Ergebnissen meiner Untersuchungen wird die Verneinung dieser Frage berechtigt sein, d. h., es ist nicht anzunehmen, daß Kupfersalze durch das Zement in den Zahnhalteapparat eindringen, da, wie der Versuch zeigt, die Kupferionen wohl in das Dentin, aber nicht in das Zement und darüber hinaus diffundieren. Ebenso ergibt der Versuch, in derselben Versuchsanordnung wie eben beschrieben, nur mit dem Unterschied, daß in das Pulpenkavum und in die Kapillare Wasser und um den Zahn herum Kupfersulfatlösung gefüllt wurde, daß von außen, von der Wurzelwandung her, keine Kupfersalze in die Zahnsubstanz eingedrungen waren, nur Wasser, welches durch Ansteigen in der Kapillare bereits nach ungefähr 48 Stunden deutlich zu sehen war. Bei diesem Versuch wurde der Lösungsspiegel über den Wasserspiegel der Kapillare gesetzt, sodaß der hydrostatische Druck zur Geltung kam und so das Ansteigen des eingedrungenen Wassers in der Kapillare bewirkte. Die Prüfung des Kappillarinhaltes auf etwaige eingedrungene Kupfersalze fiel bei jedem Versuch negativ aus. Die Be-

trachtung des Aeußeren der Salzlösung ausgesetzten Wurzelteils ergab einen ganz feinen Ueberzug von Kupfersalz. Der Schliff eines so vorbehandelten Zahnes, Präparat 21, zeigt, daß keine Kupfersalze in die Zahnsubstanzen eingedrungen sind, obwohl das Zement doch eigentlich durch seinen knochenähnlichen Aufbau eine gewisse Durchlässigkeit vermuten ließe.

Vergleichsweise wären hier noch Beobachtungen von Heinze und Gowssejeff betreffend die Diffusion von Stoffen vom Pulpenkavum durch Dentin und Zement anzuführen.

Heinze prüfte die Reaktions- und Diffusionsfähigkeit der vor etwa 15 Jahren von Howe zum ersten Male zur Wurzelfüllung angewandten Silberreduktionsmethode. Sie besteht darin, daß der Wurzelkanal mit einer Silberoxydlösung gefüllt wird. Nach Eindringen der Lösung in das Dentin wird durch eine 10%ige Formalinlösung das Silberoxyd zu metallischem Silber reduziert. Die so entstehende Verfärbung beschreibt Heinze als in die Dentinkanälchen bis zu $^2/_3$ der Dicke der Wurzelwände eindringend, stellenweise größere oder kleinere Bezirke in der Richtung zum Zement ergreifend. Besonders im apikalen Teil und seinen Ramifikationen findet er eine Ausbreitung, die sich teilweise bis zur Zementoberfläche erstreckt.

Ebenso schreibt Gowssejeff der Silbermethode eine ungemein intensive Diffusionsenergie zu. Er fand bei seinen Versuchen ebenfalls $^1/_2$ — $^2/_3$ der Wanddicke mit Silber imprägniert.

Vergleicht man nun diese Ergebnisse mit meinen Befunden, die doch eine vollständige Imprägnierung der Wurzelkanalwand mit Kupfersalz bis zum Zement ergab, so liegt das wohl nur daran, daß das Silberoxyd sowie die Formalinlösung nicht genügend Zeit hatten, alle sich ihnen bietenden Diffusionsmöglichkeiten auszunützen.

Zusammenfassend wäre über die Ausbreitung von Kupfermetallverfärbungen innerhalb der Zahnsubstanzen somit zu sagen:

Verfärbungen durch Kupfermetalle sind im Schmelz erst möglich, wenn die Bedingungen für diese durch Entziehung von Kalksalzen geschaffen werden.

Im Dentin erfolgt die Ausbreitung der Verfärbung:

1. innerhalb der angeschnittenen Dentinkanälchen
2. innerhalb der Schmelzdentingrenze
3. vom Pulpenkavum aus nach der Peripherie.

Im Zement ist eine Ausbreitung von Kupfermetallverfärbungen auf Grund der angestellten Versuche nicht anzunehmen.

Die im folgenden beschriebenen, von mir angestellten Versuche hatten noch den Zweck, Verfärbungen der harten Zahnsubstanzen durch leichtlösliche Kupfersalze außerhalb des Mundes zu verfolgen. Die Vorgänge, wie sie sich in der Mundhöhle in vivo kupferhaltigen unedlen Legierungen gegenüber abspielen, lassen sich außerhalb des Mundes allerdings kaum genau nachahmen.

Um annähernd an die Verhältnisse heranzukommen, behandelte ich Kupferamalgamfüllungen, welche ich in frisch extrahierte Zähne mit künstlich geschaffenen Kavitäten legte, mit Milchsäure-Kochsalzlösung, wie es sonst bei Korrosionsversuchen üblich ist, jedoch in geringerer Konzentration und täglicher kurzer Einwirkungsdauer. Mit einer Lösung von 0.50% Milchsäure, kombiniert mit 0.10% Kochsalz, wurden die Amalgamfüllungen drei mal täglich zu bestimmten Zeiten überstrichen. Nach dem Eintrocknen der Flüssigkeit wurden die Zähne in Speichel gelegt. Bereits am siebenten Tage konnte man eine leichte Grünblaufärbung der Füllungsoberflächen beobachten. Vierzehn Tage nach dieser Behandlung wurde ein Probeschliff gemacht, welcher unter der Füllung keinerlei Veränderung zeigt (Präparat Nr. 22). Der Säureeinwirkung von 30 Tagen war das Präparat Nr. 23 ausgesetzt. Man sieht hier bereits unterhalb des Amalgams Blaugrünfärbung von geringer Ausbreitung. Den nun folgenden Präparaten 24—33 liegen Behandlungszeiten von 5 Wochen bis zu 7 Monaten zugrunde, wie aus folgender Aufstellung zu ersehen ist. Die Präparate 28 a, 30 a, 32 b und 33 b sind nachträglich mit Schwefelwasserstoff behandelt worden, um über die Ausbreitung eine bessere Kontrolle zu haben.

Aufstellung.

Präparat	Nr.	Behandlungszeit	Ergebnis
„	22	14 Tage	—
„	23	30 „	+

Präparat	Nr.	Behandlungszeit	Ergebnis
„	24	5 Wochen	+
„	25	6 „	+
„	26	7 „	+
„	27	9 „	+
„	28	9 „	+
„	29	3 Monate	+
„	30	4 „	+
„	31	5 „	+
„	32	6 „	+
„	33	7 „	+

Wenn man nun diese Ergebnisse mit den Präparaten 1 a, b, und 2 a, b, vergleicht, und bei ihnen die Zeiten des Entstehens und die Intensität der Verfärbung mit denen durch meine Versuche erhaltenen Verfärbungen entgegensetzt, so wird man zu dem Schluß kommen, daß eine ungefähre Uebereinstimmung anerkannt werden muß.

In praktischer Hinsicht sind die Ergebnisse der Untersuchungen für die besprochenen Materialien wie folgt auszuwerten:

1. Vom Nickelin wäre zu sagen, daß es neben der Ursache von Verfärbungen infolge Schwächung und Zerstörung der Lötverbindung in kaumechanischer Beziehung unseren Forderungen auf die Dauer nicht gerecht werden wird und somit vor seiner Verwendung zu warnen ist.

2. Die Verwendung von Kupferamalgam wird auf Grund der entstehenden Verfärbungen vom kosmetischen Standpunkt aus zu bemängeln sein.

Auch wenn sich ergeben hat, daß die Ausbreitung der verfärbend wirkenden Kupferteilchen im wesentlichen auf das Dentin beschränkt ist, kommt die nachteilige Wirkung auf das Aussehen sichtbarer Zähne wegen der Transparenz des Schmelzes doch voll zur Geltung, wie die klinische Beobachtung immer wieder bestätigt.

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Karl Greve, erlaube ich mir für die Zuweisung des Themas sowie für die gütige Unterstützung bei der Bearbeitung desselben meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

Literatur-Verzeichnis

Adrion: Experimentelle Untersuchungen der Diffusionsvorgänge in der harten Zahnsubstanz. D. M. f. Z. 1921.

Bauchwitz: Diffusionsvorgänge in der harten Zahnsubstanz. Zahnärztl. Rundsch. 1921 Nr. 41/42.

Black: Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde.

Freibusch: Diffusionsvorgänge im harten Zahngewebe. D. M. f. Z. 1922 H. 20.

Heinze: Ueber die Howe'sche Silberreduktionsmethode und ihre Modifikationen nebst experimentellen Untersuchungen. D. M. f. Z. 1924.

Herrmann: Diffusionsvorgänge in der harten Zahnsubstanz.

Kantorowicz: Klinische Zahnheilkunde.

Kranz: Ueber die Diffusionsvorgänge in den harten Zahnsubstanzen. Zahnärztl. Rundschau 1921.

Niedergesäß: Ueber Sprünge in Menschen- und Tierzähnen. Arch. f. Hyg. Bd. 84 H. 4/5.

Okino: Experimentelle Untersuchungen über die Durchlässigkeit der transparenten Zone bei der Dentinkaries am lebenden Zahn. Schweiz. Monatsschr. f. Z. 1930 Bd. 7.

Port-Euler: Lehrbuch der Zahnheilkunde.

Schoenbeck: Materialienkunde.

Schwarz: Ueber Sprünge in Menschen- und Tierzähnen. D. M. f. Z. 1920 H. 3.

Ullik: Untersuchungen über die Howe'sche Wurzelfüllung. Zeitschr. f. Stomatologie 1924.

Walkhoff: Die konservierende Zahnheilkunde.

Witzel: Das Füllen der Zähne mit Amalgam.

Lebenslauf

Ich bin am 12. Juli 1900 zu Königshütte O/S geboren. Nach Besuch der Volksschule, der Oberrealschule in Königshütte und der Mittelschule in Kattowitz, begann im Jahre 1916 meine zahntechnische Lehrzeit. Im Juni 1918 wurde ich zum Heeresdienst einberufen, im Dezember 1918 daraus entlassen. Danach war ich als Zahntechniker tätig. Am 21. Dezember 1920 bestand ich als Extraneer die Reifeprüfung an der Oberrealschule in Freiburg in Schlesien und bezog 1921 die Universität Breslau als Student der Zahnheilkunde. Im Sommersemester 1923 belegte ich in Tübingen bei derselben Fakultät. Hierauf mußte ich mein Studium unterbrechen und war nun weiter in meinem erlernten Beruf tätig. Im November 1926 ließ ich mich erneut als Studierender der Zahnheilkunde in Breslau einschreiben und legte am 8. Dezember 1931 die zahnärztliche Staatsprüfung ab.

Ich besitze die preußische Staatsangehörigkeit.

Willibald Domin